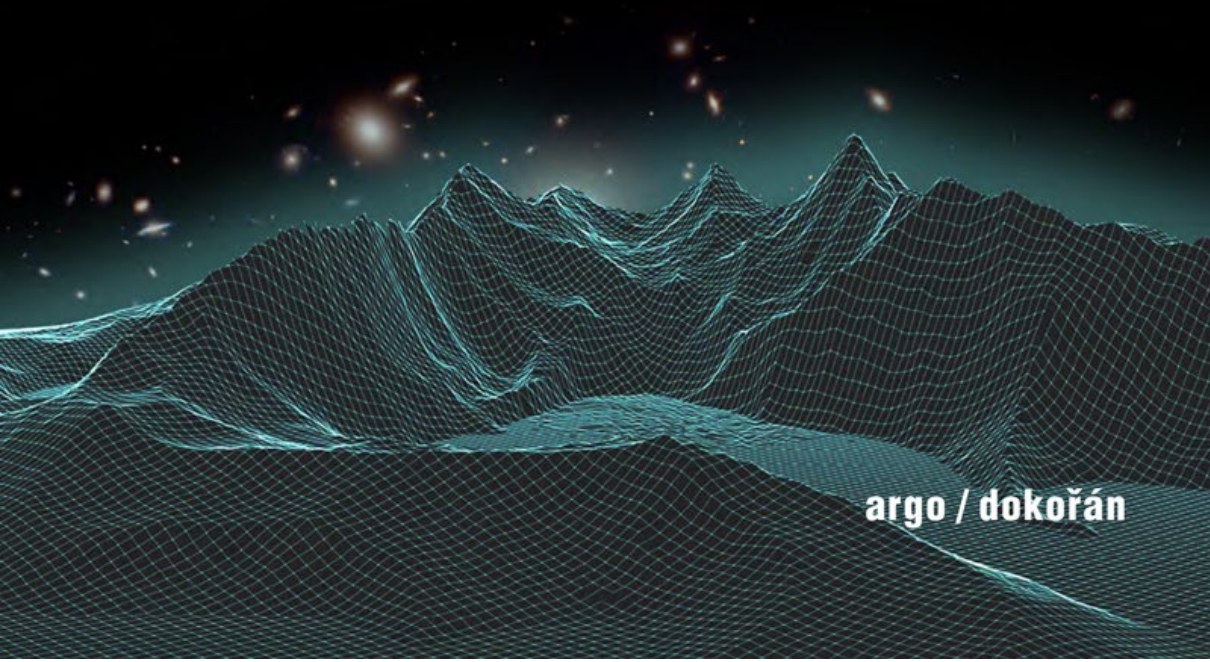


Leonard Susskind

KOSMICKÁ KRAJINA

**Strunová teorie a iluze
inteligentního plánu**



argo / dokořán

Leonard Susskind

KOSMICKÁ KRAJINA

**Strunová teorie a iluze
inteligentního plánu**

ARGO / DOKOŘÁN

Leonard Susskind

KOSMICKÁ KRAJINA

Strunová teorie a iluze inteligentního plánu

Copyright © 2006 by Leonard Susskind

All rights reserved.

Translation © Oldřich Klimánek, 2024

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této publikace nesmí být rozmnožována a rozšiřována jakýmkoli způsobem bez předchozího písemného svolení nakladatele.

Druhé vydání v českém jazyce (první elektronické)

Z anglického originálu *The Cosmic Landscape*.

String Theory and the Illusion of Intelligent Design

přeložil Oldřich Klimánek.

Odpovědný redaktor Zdeněk Kárník.

Redakce Marie Černá.

Obálka a sazba podle návrhu Pavla Růta

a konverze do elektronické verze Michal Puhač.

Vydalo v roce 2024 nakladatelství Dokořán, s. r. o.,

Holečkova 9, Praha 5,

dokoran@dokoran.cz, www.dokoran.cz,

jako svou 1 308. publikaci (448. elektronická).

ISBN 978-80-7675-219-1

„Vaše Výsosti, tuto hypotézu jsem nepotřeboval.“
Pierre-Simon de Laplace (1749-1827)
v odpovědi na Napoleonovu otázku,
proč Laplace ve své práci o nebeské mechanice
nezmiňuje Boha.

OBSAH

Předmluva	9
Úvod	13
Kapitola 1. Svět podle Feynmana	25
Kapitola 2. Matka všech fyzikálních potíží	63
Kapitola 3. Krajina země	85
Kapitola 4. Mýtus o jedinečnosti a eleganci	103
Kapitola 5. Blesk z nebes	119
Kapitola 6. O mražených a vařených rybách	151
Kapitola 7. Svět poháněný gumičkou	175
Kapitola 8. Reinkarnace	199
Kapitola 9. Na vlastní pěst?	225
Kapitola 10. Brány za největším Rube Goldbergovým strojem	235
Kapitola 11. Vesmír v perličkové koupeli	253
Kapitola 12. Válka o černé díry	281
Kapitola 13. Bilancování	295
Doslov	323
<i>Poznámka o rozdílu mezi krajinou a megavesmírem</i>	326
<i>Poznámka k terminologii</i>	326
<i>Slovníček pojmů</i>	327
<i>Rejstřík</i>	331

PŘEDMLUVA

Vysvětlovat fyziku mě odjakživa bavilo. Není to vlastně jen pro potěšení, fyziku vysvětlovat musím. Většinu času, kdy bádám, trávím přes den zasněný – a imaginárnímu obecenstvu plnému oddaných laiků objasňuji nějakou zapeklitou vědeckou myšlenku. Možná jsem trochu šašek, ale na tom nesejde. Je to prostě součástí toho, jak přemýšlím, beru to jako pomůcku, nástroj, jenž mi napomáhá utříbit si myšlenky, a dokonce přijít i na nové způsoby, jak nahlížet na jisté problémy. Takže přirozeně musel přijít okamžik, kdy jsem si konečně řekl, že je načase zkusit napsat knihu pro širokou veřejnost. Před pár lety jsem se rozhodl, že se do toho pustím a napíšu knížku o dvacet let trvající při, která se rozpoutala mezi mnou a Stephenem Hawkingem a jež se týká osudu informací spadlých do černé díry.

Někdy v té době jsem však zjistil, že se nacházím přímo v oku obřího vědeckého hurikánu, v bouři, jež se netočí pouze kolem původu vesmíru, ale též kolem původu jemu vládnoucích zákonů. V článku „The Anthropic Landscape of String Theory“ (Antropická krajina strunové teorie) jsem totiž požádal ostatní fyziky, aby obrátili svou pozornost na nově vznikající pojem, který jsem pojmenoval *krajina*. Článek vzbudil značný rozruch nejen napříč fyzikální a kosmologickou komunitou, ale časem si našel svou cestu i k filozofům, ba dokonce teologům. Krajina je myšlenkou prolamující hranice, ideou, která se dotýká nejen současných posunů paradigmatu ve fyzice a kosmologii, nýbrž též přehlubokých kulturních otázek valících se po naší společenské a politické krajině, třeba jestli může věda vysvětlit tu neobyčejnou skutečnost, že vesmír vypadá, jako by byl podivně, ba přímo velkolepě navržen pro naši existenci? A tak jsem se rozhodl, že knížku o černých dírách dám na chvíli stranou a raději napíšu populární knihu o tomto neobyčejném příběhu. A tak se zrodila *Kosmická krajina*.

Někteří ze čtenářů si patrně všimli, že v nedávné minulosti byly vědecké rubriky novin plné zpráv o tom, kterak kosmologové mají těžkou hlavu ze dvou „temných“ objevů. Prvním bylo zjištění, že devadesát procent látky ve vesmíru je tvořeno jakousi potemnělou záhadnou substancí, jíž se říká temná nebo také skrytá hmota. Druhý objev ukázal, že sedmdesát procent energie ve vesmíru se skládá z něčeho ještě strašidelnějšího, čehosi, co nazýváme temnou či skrytou energií. Těch slov *záhada*, *záhadné* a *mystické* je v takových člancích jako much.

Musím se přiznat, že ani jeden z objevů nepovažuji za mysteriózní. Když něco nazveme *záhadou*, podle mě tím ukazujeme na cosi, co se naprosto vymyká

racionálnímu vysvětlení. Když jsme objevili temnou hmotu a temnou energii, bylo to sice překvapivé, ale žádná tajemství je neobestírají. Částicovní fyzici (fyzici, kteří studují elementární částice), mezi něž se počítám i já, odjakživa věděli, že jejich teorie nejsou úplné a že ještě zbývá objevit mnoho jiných částic. Tradice předpovídání existence nových, složitě detekovatelných částic začala psát svou historii, když Wolfgang Pauli správně vytušil, že při určité radioaktivní přeměně vstupuje do hry neviditelná částice zvaná neutrino. Skrytá hmota se sice neskládá z neutrin, ale k dnešnímu dni už fyzici postulovali existenci celé řady částic, ze kterých by se mohla tato neviditelná látka dost dobře skládat. V tom není žádná záhada – potýkáme se však s různými nesnáze, jež nám brání tyto částice identifikovat či lapit.

Zato skrytá energie si zaslouhuje přídomek „tajemná“ o cosi víc, přesto však tato záhada souvisí spíše s nepřítomností než přítomností. Už více než pětasedmdesát let fyzici vědí, že existují pádné důvody se domnívat, že prostor je vyplněn skrytou energií. Záhadou není, proč skrytá energie existuje, ale naopak proč je jí tak málo. Avšak jedna věc je jasná: i pouhá špetka skryté energie navíc by měla fatální následky pro existenci nás samých.

Skutečná záhada, jež vzešla z moderní kosmologie, se týká pověstného tichého „slona v obýváku“ a musím dodat, že slona tak velikého, až mají fyzici z ostudy kabát. Čím to, že vesmír má všechny takové rysy, že se zdá, jako by byl navržen pro existenci životních forem, jako jsme my? Tato otázka vrtá vědcům hlavou a zároveň povzbudila všechny, kdo preferují pohodlnost mýtu kreacionismu. Situace, v níž se dnes ocitáme, se vlastně v leccems podobá předdarwinovské biologii, kdy hloubaví lidé nebyli s to pochopit, jak by – bez zásahu boží ruky – přírodní fyzikální a chemické procesy mohly dát vzniknout něčemu tak složitému, jako je lidské oko. Speciální vlastnosti fyzikálního vesmíru jsou podobně jako oko vyladěné s natolik nesmírnou přesností, že si to zaslouhuje vysvětlení.

Řeknu vám to na rovinu, teď a tady vyložím karty na stůl a přiznám se ke svým předsudkům. Jsem hluboce přesvědčen, že pro opravdovou vědu jsou nutná taková vysvětlení, v nichž nevystupují nadpřirozené síly. Jsem přesvědčen, že oko se vyvinulo darwinovským mechanismem. Kromě toho mám za to, že i fyzici a kosmologové musejí najít přirozený výklad našeho světa, a to včetně všech těch úžasně šťastných náhod, díky kterým existujeme. Myslím si, že jakmile lidé nahradí racionální vysvětlení magií, nedělají vědu, a je zcela jedno, jak hlasitě hlásají opak.

Většina fyziků (včetně mě) kdysi zavírala před slonem oči – a dokonce popírala jeho existenci. Raději věřili, že zákony přírody vyplývají z nějakého elegantního matematického principu a že zjevný design vesmíru je pouhou šťastnou náhodou. Avšak nedávné objevy na poli astronomie, kosmologie, a především strunové teorie nedaly teoretickým fyzikům na výběr a přiměly je o těchto záležitostech

přemýšlet. Kupodivu možná začínáme chápat důvody, jež vedly ke vzniku tohoto vzoru náhod. Ziskáváme stále víc a víc důkazů pro objasnění „iluze inteligentního plánu“, objasnění, které závisí jen a pouze na principech fyziky, matematiky a zákonu velkých čísel. Právě o tom je *Kosmická krajina* - o vědeckém výkladu zdánlivých zázraků fyziky a kosmologie a o jeho filozofických důsledcích.

Jakému čtenáři je tato knížka určena? Každému, kdo se vášnivě zajímá o vědu a je zvědavý, proč je svět takový, jaký je. Třebaže jsem ji napsal pro laické čtenářstvo, není určena těm, kdo mají rádi zjednodušené čtení a neradi se zamýšlejí. Knihu jsem uchránil před jakýmikoli rovnicemi a odborným žargonem, nikoli však před náročnějšími pojmy. Vyhnul jsem se matematickým vztahům, ale na druhé straně jsem se snažil přesně a jasně vysvětlit principy a mechanismy, na kterých stojí nové, vynořující se paradigma. Pochopení tohoto nového paradigmatu bude klíčové pro každého, kdo bude chtít textu rozumět, až se budeme blížit odpovědím na „velké otázky“.

Jsem zavázán mnoha lidem, z nichž někteří ani netušili, že mně pomáhají s psaním této knihy. Jsou mezi nimi všichni fyzici a kosmologové, na jejichž myšlenkách stavím - Steven Weinberg, Gerard 't Hooft, Martin Rees, Joseph Polchinski, Raphael Bousso, Alan Guth, Alex Vilenkin, Shamit Kachru, Renata Kalloshová a především Andrej Linde, který se se mnou dělí o své nápady již řadu let.

Knihu bych nebyl s to napsat, nebýt podpory ze strany mého agenta Johna Brockmana a přítele Malcolma Griffitha, jenž přečetl a zkritizoval prvotní chaos ztělesněný v původním rukopisu a který mě naučil, jak „žonglovat s více než třemi míči“ (tak Malcolm popisuje nesnáze, které musí člověk překonat, když chce napsat souvislou knihu). Mnoho toho dlužím všem lidem z nakladatelství Little, Brown and Company - Stevovi Lamontovi, Carolyn O'Keefe, a zejména pak své editorce a nyní přítelkyni Liz Nagleové. Liz jsem hodně vděčný za její pomoc při psaní knihy. Měla se mnou andělskou trpělivost. A nakonec, neskonalé vděčný jsem své ženě Anne za její lásku, podporu a pomoc.

ÚVOD

Vzduch je ledově chladný a klidný. Slyším pouze svůj vlastní dech, jinak všude panuje bezbřehé ticho. Suchý prašný sníh zakřupe pokaždé, když do něj zabořím své boty. Jeho dokonalá bělost za svitu hvězd dodává krajině jemně zářivý, tajemný nádech, zatímco hvězdy se utápějí na nekonečné zčernalé nebeské báni. Na této pusté planetě jsou noci jasnější než v mém světě, v mé domovině. Krása, avšak krása chladná a bez života, je to ideální místo k metafyzickému rozjímání, zda nějaký život vůbec existuje.

Sebral jsem se a opustil bezpečí základny. Venku jsem chtěl zavzpomínat na události uplynulého dne a pozorovat na obloze přelety meteorů. Nešlo však myslet na nic jiného než na tu ryzí ohromnost a neosobní povahu vesmíru. Rozvířené galaxie, nekonečné rozpínání vesmíru, nezměrný chlad prostoru, žár rodičích se hvězd a poslední smrtelné křeče rudých obrů, bezpochyby musí existovat důvod, proč tady jsme. Člověk - a život obecně - se z pohledu vesmírných pochodů jeví jako něco bezvýznamného, je to pouhá kapka vody, tuku a uhlíku na malinkaté planetě, jež obíhá hvězdu nikterak velké důležitosti.

Dříve toho dne, v hodinách skrovného slunečního svitu, jsme se společně s Curtem a Kipem šli projít a zamířili na pár kilometrů vzdálenou ruskou stanicí. Doufali jsme, že prohodíme pár slov s Ivany. Stephen sice chtěl jít s námi, ale jeho kolečkové křeslo by neprojelo sněhovými závějsi. Zchátralý ruský komplex několik málo nízkých prorezivělých budov z vlnitého plechu vypadal opuštěně. Zabušili jsme na dveře, ale projevy života nezaznamenali. Rozrazili jsme dveře a zahleděli se do strašidelné tmy. Nakonec jsme sebrali odvalu a vešli dovnitř. Byla tam stejná zima jako venku. Komplex byl opuštěný. Zhruba stovka pokojů zůstala odemčená, zely však prázdnotou. Jak se mohlo jen tak ztratit nějakých sto mužů? Mlčky jsme se vydali zpět na základnu.

V baru jsme potkali Viktora, popíjel tam a smál se. Zdá se, že Viktor je jedním ze tří posledních Rusů, kteří na planetě zůstali. Rusko totiž přestalo posílat zásoby před více než rokem. Kdyby se jich naši lidé nebyli ujali, byli by hladověli. Zbylé dva Rusy jsme nikdy neviděli, ale Viktor nás ujišťoval, že jsou stále naživu.

Viktor trval na tom, že mi koupí drink, „aby mi nebyla zima“. „Jak se ti líbí tohle zasn... místo?“ zeptal se mě. Řekl jsem mu, že tak nádhernou noční oblohu jsem při svých cestách nikdy nespátril, snad s jedinou výjimkou, avšak ani tam nebyla obloha tak krásná jako zde. Ironií osudu bylo to druhé cizí místo s krásnou oblohou tak rozžhavené, že co se tam dotklo kamenité země, to se hned upeklo.

Samozřejmě jsme nebyli na jiné planetě. Jen nám to tak připadalo. Antarktida působí na člověka jako cizí svět. Stephen Hawking, Curt Callan, Kip Thorne, Stan Deser, Claudio Teitelboim, já a naše ženy a pár dalších teoretických fyziků jsme přišli na Antarktidu za zábavou (opravdu vtipné) - byla to odměna za to, že jsme přijeli do Chile na konferenci věnovanou černým díram. Claudio, významný chilský fyzik, zařídil u chilských vzdušných sil, abychom se dostali na palubu jednoho z obřích zásobovacích letadel Hercules, které nás na pár dní vzalo na antarktickou základnu. Byl srpen roku 1997 - na jižní polokouli panovala zima - a my čekali to nejhorší. Dosud největší mrazy jsem zažil, když teploměr ukazoval $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Proto jsem se přirozeně bál, jak zvládnu těch $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, které mohou tamní základnu v polovině zimy sevřít do svých kleští. Vojáci nám rozdali oblečení určené pro pobyt na Antarktidě, my se zapnuli až ke krku a s obavami čekali, co se bude dít.

Pak se otevřel nákladní prostor, Curtova žena Chantal vystoupila z letadla jako první, rozpažila a radostně na nás zakřičela: „Je tady asi stejně chladno jako během zimy v New Jersey!“ A také že bylo. Po celý zbytek dne, co jsme dováděli ve sněhu, se počasí nezměnilo.

Někdy v průběhu noci se bestie probudila. Ráno už Antarktida ukázala svou zuřivou tvář. Na pár minut jsem vyšel ven, abych zjistil, co musel snášet Shackleton se svou ztroskotanou posádkou. Jak je možné, že do jednoho nezhynuli? O život nepřišel ani jeden člen expedice. Přes rok mrzli a zároveň se topili ve vlastním potu - čím to, že nezemřeli na zápal plic? Tam venku, v sílící bouři, mi to došlo - v takových podmínkách nemůže nic přežít, ani mikrobi, ani viry způsobující lidem nachlazení.

Ta druhá cizí „planeta“, o níž jsem se zmínil Viktorovi, bylo Údolí smrti - další místo bez života. Ne, ne tak docela bez života. Ale stejně mě zajímalo, o kolik by se ještě muselo oteplít, aby se v buňkách uškvařila veškerá protoplazma. Antarktida má s Údolím smrti společnou jednu věc, a to extrémní sucho. Vládne tam až příliš silný chlad, než aby se dostatek vodní páry udržel v ovzduší - díky tomu a díky naprosté absenci světelného znečištění je na obou těchto extrémních místech možné spatřit hvězdy tak, jak se to modernímu člověku málokdy poštěstí. Když jsem tam tak stál, v Antarktidě ve svitu hvězd, došlo mi, jaké převeliké štěstí my lidé máme. Život je křehký a zkvétá jen v podmínkách, kdy se teplota drží v úzkém rozmezí mezi bodem varu a mrazu. Jaká to náhoda, že naše planeta je tak vhodně vzdálená od Slunce. Ležet o trošku dále, Zemi by opanovala smrt věčné antarktické zimy nebo i horší; být o trošku blíže, upeklo by se vše, co by se dotklo zemského povrchu. Viktor coby Rus se díval na tuto otázku očima spiritualismu: „Nebyla to snad,“ tázal se, „nezměrná božská vlídnost a láska, která umožnila naši existenci?“ Svě „bezbožné“ vysvětlení vám povím v pravý čas.

Ve skutečnosti musíme být vděční za daleko víc než jen za teplotu Země. Bez správného množství uhlíku, kyslíku, dusíku a dalších prvků by totiž správné klima Země přišlo nazmar. Kdyby ve středu naší Sluneční soustavy sídlil místo Slunce mnohem běžnější binární hvězdný systém,^{*} planetární dráhy by byly příliš chaotické na to, aby se vyvinul život. Nebezpečí takového typu existuje nespočet, avšak na jejich vrcholu stojí samotné fyzikální zákony. Stačila by malá změna v Newtonových zákonech nebo pravidlech atomové fyziky, a bum – život by byl okamžitě udušen ve svém zárodku, nebo by vůbec nikdy nevznikl. Vypadá to, že náš strážný anděl nám daroval nejen vhodnou planetu pro život, ale že nám též ušil na tělo i pravidla existence – zákony fyziky a kosmologie. Tohle je jedna z největších záhad přírody. Je to náhoda? Jde o inteligentní a dobrotivý plán? Je to vůbec téma pro vědu? Pro metafyziku? Nebo pro náboženství?

Tato kniha je o debatě, jež nedává spát fyzikům ani kosmologům, ale která je také součástí širší kontroverze, zvláště ve Spojených státech, kde vskočila na území předpojatých politických projevů. Na jedné straně stojí lidé, kteří jsou přesvědčeni, že svět musel být stvořen nebo navržen inteligentní hybnou silou s dobrotivým záměrem. Na straně druhé stojí ty paličaté, vědecké typy, kteří mají za to, že vesmír je výsledkem neosobních a nezaujatých zákonů fyziky, matematiky a pravděpodobnosti – že je to svět bez účelu, abych tak řekl. První skupinou nemám na mysli ty jedince, kteří oddaně věří bibli, která říká, že svět byl stvořen před 6 000 roky, a kteří jsou celí žhaví se o tom ještě hádat. Mluvím o hloubavých, inteligentních lidech, kteří se kolem sebe rozhlížejí a nemohou ani zabožha uvěřit tomu, že svět je jen výsledkem hloupé šťastné náhody, díky níž je svět tak přívětivým místem pro lidské bytosti. Nemyslím si, že tito lidé jsou hloupí; na jejich pohledu totiž něco je.

Obecně vzato zastánci inteligentního plánu tvrdí, že je nemožné, aby se něco tak složitého jako lidský zrakový systém vyvinulo čistě náhodným procesem. To je nemyslitelné! Ovšem biologové mají v záloze střelivo s pořádnou ráží – princip přírodního výběru. A ten umí vysvětlit ledacos – princip je natolik silný, že pod tíhou důkazů většina biologů věří Darwinovi. Zázrak oka je zázrakem z kategorie zdánlivých.

Domnívám se, že milovníci inteligentního plánu mají pevnější půdu pod nohama, když přijde řeč na fyziku a kosmologii. Biologie je jen jednou stránkou příběhu o stvoření. Tou druhou stránkou jsou fyzikální zákony a původ vesmíru. A opět to vypadá, že svět překypuje neskutečnými zázraky. Zdá se, že je beznadějně nepravděpodobné, aby jakákoli specifická pravidla vedla náhodou k zázraku inteligentního života. Nicméně tohle je právě to, v co věří většina

* Binární hvězdný systém není nic jiného než dvě hvězdy, které obíhají kolem společného těžiště.

fyziků, totiž že inteligentní život je čistě jen šťastnou shodou okolností, řízenou fyzikálními principy nemajícími nic co do činění s naší vlastní existencí. Tady sdílím skepticismus s lidmi z tábora inteligentního plánu: Myslím si totiž, že ona hloupá náhoda si zasluhuje vysvětlení. Jenomže vysvětlení, jež vyvstává z moderní fyziky, se každým coulem liší od inteligentního plánu, stejně jako se Darwin lišil od biskupa „Mýdlového“ Sama Wilberforceho.*

Debata, jíž se věnuje tato kniha, není tou hořkou politickou kontroverzí mezi vědou a kreacionismem. Na rozdíl od debaty mezi „Darwinovým buldokem“ Thomasem Huxleym a Wilberforcem se současné spory netočí kolem náboženství a vědy, nýbrž kolem dvou soupeřících frakcí vědy – mezi těmi, kdo na jedné straně věří, že zákony přírody jsou předurčeny matematickými vztahy, jež jen díky pouhé náhodě umožňují existenci života, a těmi, kdo věří, že zákony přírody byly nějak předurčeny požadavkem, aby byla možná existence života. Jízlivost a zášť polemiky vykryštalizovaly z jediné fráze o antropickém principu – hypotetickém principu, který říká, že svět je dobře vyladěn proto, abychom existovali a mohli jej pozorovat! Sám bych teď měl říct, že tohle je prašitěný a nedomyšlený pojem. Nedává o nic větší smysl než tvrzení, že oko se vyvinulo jen z toho důvodu, aby existoval někdo, kdo si přečte tuto knihu. Avšak ve skutečnosti to je jen zkrácený termín pro mnohem bohatší soubor pojmů, které si vysvětlíme v následujících kapitolách.

Polemika mezi vědci má však svůj dopad i na širší veřejnou debatu. Není žádným překvapením, že ze seminárních místností a vědeckých magazínů proniká až do politických debat o inteligentním designu a kreacionismu. Křesťanské internetové stránky do toho skočily rovnýma nohama:

Bible říká:

„Od časů, co byl stvořen svět, lidé vidí zemi, nebesa a vše, co Bůh vykonal. Mohou jasně vidět Jeho neskonalý um – Jeho věčnou moc a božství. Tudiž pro to, že neznají Boha, neexistuje vůbec žádná omluva.“

Tohle je pravdivé dnes, jak pravdivé to bylo vždy – jistým způsobem, vzhledem k objevu antropického principu, je to pravdivější dnes než kdykoli předtím. Takže prvním typem důkazu, který máme, je stvoření samo – vesmír, který nese Božský podpis – „ten správný“ vesmír, vhodný k tomu, abychom v něm my žili.

* Samuel Wilberforce, anglický biskup, kterému se přezdívalo též Mýdlový Sam. Přezdívkou dostal kvůli svým úskočným argumentům při debatách o křesťanství. Darwinovým dvorním nástupcem byl Thomas Huxley, kterého ze zřejmých důvodů biskup Wilberforce nazval Darwinovým buldokem. Oba pánové se střetli v roce 1860 při debatě na téma Darwinova díla *O původu druhů přírodním výběrem*. Licoměrný Sam se škodolibě zeptal Huxleyho, zda tou opicí, o které mluví, byla jeho babička nebo dědeček. Huxley se na něj obrátil a pronesl: „Raději budu potomkem opice než někoho, kdo dělá z pravdy prostitutku.“

A cituji z další náboženské stránky:

Ve své knize *Kosmický plán* uzavírá profesor astronomie Paul Davies, že důkazy o [inteligentním] plánu jsou naprosto jasné:

Profesor sir Fred Hoyle - žádný to sympatizant s křesťanstvím - říká, že to vypadá, jako by fyziku stejně jako chemii a biologii řídila nějaká superinteligentní bytost.

A astronom George Greenstein poznamenává:

Když procházíme všechny důkazy, nabízí se myšlenka, že v tom všem má prsty nějaká nadpřirozená vláda, či spíše Vláda. Je možné, že jsme náhle a nevědomky narazili na vědecký důkaz existence nejvyšší bytosti? Byl to Bůh, kdo zakročil a našťástí nám připravil vesmír k užítku?*

Divíte se pak, že antropický princip vadí takovému množství fyziků?

Davies i Greenstein jsou vážení akademici a Hoyle byl jedním z velkých vědců 20. století. A jak zdůrazňují, *zdá se*, že inteligentní plán je nevyhnutelný.** Neobyčejné náhody jsou nezbytné pro existenci života. Bude nám trvat několik kapitol, než porozumíme onomu příslovečnému „slonu v obýváku“ - ale co, s malou ochutnávkou začněme už teď.

Svět, jak ho známe, je velmi ošidným místem. Myslím tím to, že je velice zajímavý z hlediska fyziky. Existuje řada způsobů, jak by se náš svět mohl zbláznit - a to natolik, že život, jak jej známe, by byl naprosto vyloučenou záležitostí. Podmínky k tomu, aby svět podobný našemu umožňoval existenci života, spadají do tří obecných tříd. První třída v sobě obsahuje hrubý materiál života, tedy chemické sloučeniny. Život je samozřejmě chemickým procesem. Na atomech je cosi zvláštního, cosi je nutí držet pohromadě a vytvářet ty nejbizarnější kombinace, ony nejsílenější, zvláště poskládané molekuly života - DNA, RNA, stovky proteinů a zbytek. Chemie je vlastně jedna z oblastí fyziky, neboť je to jen fyzika valenčních elektronů, to je těch elektronů, které obíhají kolem jádra po nejzazších drahách. Atomy se pyšní úžasnými vlastnostmi právě díky valenčním elektronům, které skáčou tam a zpátky a o které se dělí jednotlivé atomy.

Zákony fyziky začínají seznamem elementárních částic, jako jsou elektrony, kvarky a fotony. Všechny tyto částice mají své specifické vlastnosti, třeba hmotnost a elektrický náboj. Z těchto kousíčků hmoty je složeno vše ostatní. Nikdo

* Nevím nic o Daviesově nebo Greensteinově náboženském přesvědčení, ale varoval bych před doslovnou interpretací. Fyzici často používají termíny jako *design*, *vláda* nebo *i Bůh* coby metafory pro něco, o čem nic nevíme - tečka. Jednou jsem v textu použil slovo *hybná síla* a od té doby toho lituji. Einstein často mluvil o Bohu: „Bůh má za ušima, ale záłudný není.“ „Bůh nehraje s vesmírem v kostky.“ „Chci zjistit, jak Bůh stvořil svět.“ Většina komentátorů má za to, že Einstein používal slova „Bůh“ coby metafory pro obyčejný soubor zákonů přírody.

** Objeví se tato věta vytržena z kontextu na náboženských internetových stránkách? Doufám, že ne.

netuší, proč seznam částic vypadá tak, jak vypadá, nebo proč jsou vlastnosti těchto částic takové, jaké jsou. Stejně tak by mohl existovat nekonečný počet jiných seznamů. Avšak ani teď vůbec nelze očekávat, že vznikne vesmír vyplněný životem. Kdybychom vynechali jakoukoli z těchto částic (elektrony, kvarky nebo fotony) či bychom mírně pozměnili jejich vlastnosti, tradiční chemie by se zborčila jako domeček z karet. Očividně totéž platí pro elektrony i kvarky, jež utvářejí protony a neutrony. Atomy by bez nich nemohly vůbec existovat. Ale význam fotonů už tak zřejmý být nemusí. V dalších kapitolách se dozvíme něco více o původu sil, jako jsou síly elektrické a gravitační, ale v tento okamžik nám postačí vědět, že elektrické síly držící atomy pohromadě souvisí s existencí fotonu a s jeho zvláštními rysy.

Zdají-li se zákony přírody vhodné pro chemii, stejně dobře sedí i pro druhou sadu požadavků, jmenovitě pro to, aby nám vývoj vesmíru připravil pohodlný domov. Velkoškálové vlastnosti vesmíru – jeho velikost, míra rozpínání, existence galaxií, hvězd a planet – jsou z velké části ovládnány gravitací. To, jak se vesmír rozeplnul z počátečního velkého třesku do dnešní velikosti, popisuje Einsteinova obecná teorie relativity. Vlastnosti gravitace, zejména její přirozená intenzita, by klidně mohly být zcela jiné. Proč je gravitace tak slabá síla, je vlastně jedním z neobjasněných zázraků.* Gravitační síla mezi elektrony a atomovým jádrem je 10^{36} krát slabší než elektromagnetická přitažlivá síla. Kdyby byly gravitační síly jen o trochu silnější, vesmír by se vyvíjel tak rychle, že by na vznik inteligentního života nezbyl čas.

Gravitace však hraje velice dramatickou roli při vývoji vesmíru. Díky její přitažlivé povaze se materiál – jako vodík, helium a takzvaná temná hmota – ve vesmíru shlukuje do galaxií, hvězd a konečně také planet. Nicméně aby se tak stalo, velmi raný vesmír musel být trochu „hrudkovitý“. Kdyby počáteční látka bývala hladce rozprostřena po vesmíru, setrvala by v tomto stavu navždy. Ve skutečnosti se věc má tak, že před čtrnácti miliardami let měl vesmír přesně tu správnou hrudkovitost – být tehdy o něco málo hrudkovitější nebo hladší, neexistovaly by v něm dnes žádné galaxie, hvězdy ani planety, na kterých by se mohl vyvinout život.

A nakonec nesmíme zapomenout ani na chemické složení vesmíru. Na počátku existoval ve vesmíru jen vodík a helium, což je pro život jaksí málo. Uhlík, kyslík a další prvky vznikly až později. Utvořily se v jaderných reaktorech v nitrech hvězd. Schopnost hvězdy přeměnit vodík a helium na veledůležitá uhlíková jádra byla velmi delikátní záležitostí. Ke vzniku uhlíku by nedošlo, kdyby zákony elektromagnetismu a jaderné fyziky byly jen o malinko jiné.

A i když uvnitř hvězd vznikl uhlík, kyslík a další, z hlediska biologie důležité

* Pro experty malá poznámka. Slabá povaha gravitace je ekvivalentní problému s nízkými hmotnostmi elementárních částic. Tomuto problému „vetchosti“ částic se říká problém kalibrační hierarchie. Ačkoli fyzici přišli s některými zajímavými nápady, shoda ohledně řešení neexistuje.

prvky, musely se nějak dostat ven a posloužit jako vhodný materiál pro vytvoření planet a života. Uvnitř nesmírně žhavých jader hvězd žít nemůžeme. Jak se tato látka dostala z hvězd ven? Materiál byl vyvržen z hvězdy během kataklyzmatického výbuchu, který nazýváme vzplanutí supernovy.

Supernovy jsou pozoruhodným jevem samy o sobě. Kromě protonů, neutronů, elektronů a fotonů potřebují ještě další částici – před chvílí zmíněné tajuplné neutrino. Když neutrino unikají z kolabující hvězdy, vyvíjejí silný tlak a tlačí před sebou prvky ven. A naštěstí seznam elementárních částic náhodou obsahuje neutrino s těmi správnými vlastnostmi.

Jak už jsme si řekli, svět plný biologické aktivity není nikterak samozřejmý. Z pohledu výběru ze seznamu elementárních částic a vlastních intenzit sil je naopak velice vzácnou výjimkou. Avšak jak výjimečný je? Je natolik výjimečný, aby garantoval existenci radikálně nového paradigmatu včetně antropického principu? Kdybychom své názory opřeli pouze o to, co jsme si prozatím vysvětlili, názory by se různily, a to i u těch, kdo jsou antropickým úvahám nakloněni. Většina jednotlivých jemných vyladění nutných k existenci života není zas až tak přesných, aby k nim nemohlo dojít šťastnou náhodou. Možná – jak fyzici vždy doufali – najdeme matematický princip, jenž vysvětlí náš seznam částic a konstant přírody a možná se tím objasní i ta spousta šťastných náhod; tedy že zjistíme, že jsou opravdu šťastnými náhodami. Jenže v přírodě existuje jedno velice jemné vyladění (o kterém si popovídáme v 2. kapitole), jež je zatraceně nepravděpodobné. Jeho existence vrtá fyzikům hlavou už více než půl století a jediným jeho vysvětlením, můžeme-li to tak nazývat, je antropický princip.

A to nás přivádí k paradoxu: Jak vůbec můžeme doufat, že objasníme neobyčejně přívětivé vlastnosti zákonů fyziky a našeho světa, aniž bychom se odvolávali na nadpřirozenou inteligenci? Zdálo by se, že z antropického principu, jehož ústředním smyslem je výklad původu života v našem vesmíru, vyplývá existence někoho – nějaké vyšší hybné síly – kdo pečuje o lidstvo. Tato kniha je o vznikajícím fyzikálním paradigmatu, které sice staví na antropickém principu, ale staví na něm takovým způsobem, který nabízí naprosto vědecký výklad zjevné přívětivosti našeho vesmíru. Já na něj nahlížím jako na fyzikální darwinismus.

Co jsou zač ony zákony fyziky, o kterých hovoříme? Jak jsou formulovány? Dokud se mezi námi nezastavil Richard Feynman, tak jedinými nástroji, které fyzici měli pro vyjadřování fyzikálních zákonů, byly ty tajuplné, neprostupné rovnice kvantové teorie pole – což je obor natolik obtížný, že i matematici mají problémy mu porozumět. Vše změnila Feynmanova prazvláštní schopnost vizualizovat fyzikální jevy. Dokázal shrnout zákony elementárních částic pouhým načrtnutím několika jednoduchých obrázků. Feynmanovy obrázky a zákony fyziky elementárních částic, čemuž fyzici říkají *standardní model*, jsou předmětem 1. kapitoly.

Je skutečně pravda, že vesmír a jeho zákony jsou jemně vyvážené? Druhá

kapitola s názvem „Matka všech fyzikálních problémů“ by klidně mohla nést název „Matka všech rovnovah“. Když na sebe narazí zákony elementárních částic a zákony gravitace, ve vzduchu se vznáší hrozba katastrofy, svět zmítaný takovým násilím, že astronomické objekty stejně jako částice jsou trhány tou nejničivější silou, jakou si lze vůbec představit. Jediná záchrana tkví ve zvláštní konstantě přírody, Einsteinově *kosmologické konstantě*, která musí být tak nesmírně přesně naladěna, že je obtížné vůbec uvěřit tomu, že jde o pouhopouhou náhodu. Einstein zavedl kosmologickou konstantu do fyziky krátce poté, co dokončil teorii gravitace, a záhy se z ní stala největší záhada teoretické fyziky, která už téměř devadesát let zaměstnává fyziky. Představuje univerzální odporlivou sílu – jakýsi druh antigravitace – jež by okamžitě zničila vesmír, nebýt tak neuvěřitelně malá. Kámen úrazu je v tom, že ze všech našich moderních teorií vyplývá, že kosmologická konstanta být neměla být malá. Moderní principy fyziky stojí na dvou základech – na teorii relativity a na kvantové mechanice. Obecným výsledkem světa založeného na těchto principech je vesmír, který by velice rychle došel sebezničení. Z příčin, kterým vůbec nerozumíme, je však kosmologická konstanta neuvěřitelně přesně vyladěná. Toto – více než ostatní „šťastné náhody“ – vede některé lidi k závěru, že vesmír musí být výsledkem plánu.

Je standardní model částicové fyziky „vytesán do kamene?“ Nejsou přípustné i jiné zákony? Ve třetí kapitole této knihy si vysvětlíme, proč naše zákony nejsou jedinečné – jak by se mohly měnit z místa k místu nebo v průběhu času. Zákony fyziky se dost podobají počasí, jsou totiž ovládány neviditelnými vlivy v prostoru skoro tak, jak teplota, vlhkost, tlak vzduchu a rychlost větru ovlivňují tvorbu deště, sněhu a krupobití. Oněm neviditelným vlivům říkáme pole. Některá z nich jsou velmi známá, třeba magnetické pole. Mnoho z nich ale lidem nic neříká, a to ani fyzikům. Avšak existují, vyplňují prostor a řídí chování elementárních částic. *Krajina* je můj termín, jímž popisuji celý rozsah těchto teoretických prostředí. Krajina je prostor možností – schematická reprezentace všech možných prostředí dovolených teorií. Existence bohaté krajiny možností se stala během posledních několika let ústřední otázkou strunové teorie.

Kontroverze to však není jen vědecká. Ve 4. kapitole si povíme něco o estetické stránce debaty. Fyzici, zejména teoretičtí fyzici, mají silný cit pro krásu, eleganci a jedinečnost. Odjakživa věří, že zákony přírody jsou unikátním a nevyhnutelným následkem nějakého elegantního matematického principu. Jejich přesvědčení v nich zakořenilo natolik pevně, že většiny mých kolegů by se zmocnil pocit nesmírné ztráty a zklamání, jestliže by se ukázalo, že tato jedinečnost a elegance neexistují a že zákony fyziky jsou „ošklivé“. Jsou však zákony fyziky elegantní ve fyzikálním smyslu? Je-li jediným vysvětlením fungování vesmíru to, že vesmír by měl být pilířem života, mohlo by se stát, že celá struktura je neohrabaná jako

„Rube Goldbergův stroj“.* Navzdory protestům fyziků, že zákony elementárních částic jsou přece elegantní, ukazují empirické důkazy mnohem přesvědčivěji na opačný závěr. Vesmír má daleko více společného s Rube Goldbergovým strojem než s jedinečným důsledkem matematické symetrie. Podstatě věci a posouvajícím se paradigmátům neporozumíme bez pochopení pojmů krásy a elegance ve fyzice, jak vznikly a jak si stojí ve srovnání se skutečným světem.

Tato kniha je o konceptuálním „zemětřesení“, avšak to není jen zásluhou teoretiků. Mnoho věcí, které víme, pochází z experimentální kosmologie a moderní astronomie. Posun paradigmatu se řídí dvěma klíčovými objevy – úspěšnou inflační kosmologií a existencí malé kosmologické konstanty. *Inflací* se rozumí období prudkého exponenciálního rozpínání, které – jak uvidíme – připravovalo půdu pro velký třesk (v inflační kosmologii se velkým třeskem chápe okamžik konce inflace, kdy se falešné vakuum rozpadá za vzniku horké polévky částic – zatímco u nás už inflace ustala a došlo k velkému třesku, v jiných koutech „většího vesmíru“ stále probíhá). Bez inflace by vesmír byl titěrnou bublinkou, o nic větší než elementární částice, ovšem s pomocí inflace vesmír vyrostl do proporcí mnohem větších, než nám jsou schopny ukázat ty nejsilnější teleskopy na světě. Když v roce 1980 přišel Alan Guth s původní myšlenkou inflace, byla mizivá šance, že by ji astronomická pozorování mohla někdy potvrdit, avšak od roku 1980 ušla astronomie dlouhou cestu a pokročila natolik, že co se tehdy zdálo nemyslitelné, je dnes nad Slunce jasné.

Nesmírný pokrok astronomie vedl k druhému objevu, který přišel jako blesk z čistého nebe a udeřil do fyziků tak, že se z toho nemohou vzpamatovat dodnes. Nechvalně proslulá kosmologická konstanta,** o které si skoro každý myslel, že je přesně nulová, není nulová. Vypadá to, jako by přírodní zákony byly přesně vyladěné, aby kosmologická konstanta nepředstavovala smrtelné nebezpečí pro vývoj života. Těmto objevům se věnuje 5. kapitola, kde najdete také základní astronomický a kosmologický výklad, který budete potřebovat pro pozdější četbu.

Kosmologická konstanta sice může být „matkou všech rovnovah“, jenže je tu ještě řada dalších pepných podmínek, které vypadají jako fantastické náhody. O těchto druhotných „snahách o rovnováhu“ je šestá kapitola s názvem „Rybí nanuk a rybí polévka“. Týkají se skutečností, jež prostupují od světa kosmologie až do mikrokosmu, od rozpínání vesmíru k hmotnostem elementárních částic, jako jsou třeba protony či neutrony. A zopakujeme, že naše zjištění neznamenají, že vesmír je jednoduchý, ale že je plný překvapení a nevysvětlitelných šťastných náhod.

* Vysvětlení Rube Goldbergova stroje najdete ve 3. kapitole.

** Známa též jako skrytá (nebo temná) energie.

Donedávna se většina fyziků dívala na antropický princip jako na nevědec-kou, náboženskou a vůbec trochu přihlouplou myšlenku. Z pohledu fyziků šlo o výtvor z pera smyslů zbavených kosmologů, opilých vlastními mystickými myšlenkami. To skutečné teorie (jako teorie strun) měly vysvětlit všechny vlastnosti přírody unikátním způsobem, který nemá nic co dělat s naší vlastní existencí. Avšak co osud nechtěl, strunoví teoretici se ocitli v trapné situaci, neboť je jimi hýčkaná teorie vhání přímo do rukou nepřítele. Ze strunové teorie se klube sou-peřova nejmocnější zbraň. Místo aby nás zavedla k jediné unikátní elegantní konstrukci, vyvstává z ní kolosální krajina Rube Goldbergových strojů. Výsledkem tohoto zvratu je, že mnoho strunových teoretiků přešlo na druhou stranu bari-kády. Strunové teorii a tomu, jak mění paradigma, jsou věnovány kapitoly 7 až 10.

Kapitoly 11 a 12 jsou o novém, překvapivém pohledu na vesmír, jenž se líhne ze společné práce astronomů, kosmologů a teoretických fyziků. Je to svět, který se podle kosmologů jako Andrej Linde, Alexander Vilenkin a Alan Guth skládá v podstatě z nekonečného souboru „ostrovních vesmírů“, vesmírů s ne-obyčejnou rozmanitostí. Každý z vesmírů má vlastní „počasí“, tedy svůj vlastní seznam elementárních částic, sil a fyzikálních konstant. Důsledky takového bo-hatého pohledu na vesmír jsou pro fyziku a kosmologii hluboké. Otázku „Proč je vesmír takový, jaký je?“ můžeme totiž nahradit otázkou jinou: „Existuje v té rozmanitosti ostrůvek, jehož vlastnosti souhlasí s vlastnostmi našeho vesmíru?“ Předmětem 11. kapitoly je mechanismus zvaný *věčná inflace*, která dala vzniknout této rozmanitosti z prvotního chaosu. Najdete tam také pojednání o revoluci, již věčná inflace odstartovala v debatách o antropickém principu a designu vesmíru.

Kosmologický posun paradigmatu však není jediným posunem, ke kterému dochází v základech fyziky. Ve 12. kapitole se dotkneme obrovské bitvy, již říkám „válka o černé díry“. Válka o černé díry probíhala v posledních třiceti le-tech a radikálně změnila pohled teoretických fyziků na gravitaci a černé díry. Nelitostná bitva se rozpoutala ohledně osudu informací padajících za horizont černé díry – ztrácí se informace navždy a mizí z dosahu vnějších pozorovatelů, nebo existuje nějaký delikátní proces, kterým se detaily dostávají zpět při vy-pařování černé díry? Hawkingův pohled říkal, že veškeré informace spadlé za horizont jsou nenávratně ztraceny. Hawking tvrdil, že nikdy nepůjde obnovit ani ždíbec z informací o objektech na druhé straně. Jak se ale ukázalo, mylil se. Zákony kvantové mechaniky nedovolují, aby se ztratil byt jediný informační bit. Abychom pochopili, jak informace unikají z vězení černé díry, bylo nezbytné zcela přestavět naše nejzákladnější pojmy o prostoru.

Co má válka o černé díry společného s tématem této knihy? Jelikož je rozpí-nání našeho vesmíru řízeno kosmologickou konstantou, má i kosmologie své horizonty. Náš kosmický horizont leží ve vzdálenosti asi patnácti miliard svě-telných let. Na něm se objekty pohybují tak závratnou rychlostí, že jejich světlo

nemá šanci se k nám dostat. Nedostane se k nám ani jiný signál. Tento horizont je zcela stejný jako horizont černé díry – je to místo, z něhož není návratu. Jediným rozdílem je, že kosmický horizont obklopuje nás, kdežto my obklopujeme horizont černé díry. V obou případech nemůže mít nic zpoza horizontu na nás vliv, či alespoň nějak tak se to původně myslelo. Kromě toho ostatní ostrovní vesmíry – v gigantickém moři rozmanitosti – leží za horizontem absolutně mimo náš dosah! Očima klasické fyziky jsou tyto cizí světy navždy zcela odříznuté od našeho světa. Jenomže na kosmické horizonty můžeme použít úplně stejné argumenty, jaké vyhrály válku o černé díry. Existence a detaily o všech ostatních ostrovních vesmírech jsou obsaženy v nepatrných detailech kosmického záření,* které neustále omývá všechny části našeho pozorovatelného vesmíru. Kapitola 12 je úvodem do války o černé díry, tomu, jak se jí podařilo vyhrát a jaké důsledky skýtá pro kosmologii.

Kontroverze popsaná v *Kosmické krajině* je opravdová, protože se fyzici a kosmologové srdnatě bijí za své pohledy, ať už jsou jakékoli. Ve 13. kapitole se podíváme na současné názory mnoha špičkových teoretických fyziků a kosmologů a přiblížíme si jejich pohled na tuto polemiku. Seznámíme se také s různými způsoby, jak nás ke shodě mohou zavést experimenty a pozorování.

Na Viktorovu otázku „Nebyla to snad nezměrná božská vlídnost a láska, která umožnila naši existenci?“ bych musel odpovědět stejně, jako Laplace odpověděl Napoleonovi: „Tuto hypotézu jsem nepotřeboval.“ *Kosmická krajina* je mou odpovědí, a zároveň i odpovědí stále většího počtu fyziků a kosmologů, na paradox přívětivého vesmíru.

* Jde o takzvané reliktní (zbytkové) záření pocházející z doby krátce po velkém třesku. Někdy se lze setkat i se spojením „záření kosmického pozadí“, což je doslovný ekvivalent anglického výrazu. [Pozn. překl.]

SVĚT PODLE FEYNMANA

Není pochyb, že se nikdy nedozvíme jméno prvního kosmologa, který se zahleděl na oblohu a zeptal se sám sebe: „Co to všechno je? Jak se to sem dostalo? Co já tady dělám?“ Víme jen, že se tak stalo kdysi dávno a pravděpodobně v Africe. První kosmologické teorie, mýty o stvoření, se v ničem nepodobaly dnešní vědecké kosmologii, ale vzešly z téže lidské zvědavosti. Není žádným překvapením, že to byly mýty o zemi, vodě, nebesích a živých tvorech. A pochopitelně v nich vystupoval nadpřirozený stvořitel, jak jinak totiž vysvětlit existenci těch komplexních a složitých tvorů, jako jsou lidé, nemluvě o dešti, Slunci, jedlých zvířatech a rostlinách, které vypadaly, jako by je někdo přivedl na Zemi k našemu užitku.

Myšlenka, že přesné zákony přírody vládnou jak nebeskému, tak i pozemskému světu, se datuje k Isaacu Newtonovi. V dobách před Newtonem neexistoval pojem univerzálních zákonů, jež by platily jak pro astronomická tělesa jako planety, tak i pro obyčejné pozemské věci jako padající dešť a letící šípy. Newtonovy zákony pohybu byly prvním příkladem takových univerzálních zákonů. Avšak představa, že tytéž zákony vedly ke vzniku lidských bytostí, byly velkým soustem i pro slavného sira Isaaca, neboť trávil více času teologií než fyzikou.

Nejsem historik, ale risknu to s jedním tvrzením, totiž že moderní kosmologie má své kořeny u Darwina a Wallacea.* Na rozdíl od všech předchůdců tito dva vědci podali vysvětlení naší existence, které naprosto odmítalo nadpřirozené hybatele. Darwinistickou evoluci podpirají dva přírodní zákony. První je, že kopírování informací není nikdy dokonalé. I ten nejlepší reprodukční mechanismus čas od času vede ke vzniku malé chyby. Výjimkou není ani replikace DNA. I když vědu dělilo ještě sto let do okamžiku Crickova a Watsonova objevu dvojité šroubovice, Darwin instinktivně porozuměl tomu, že nashromážděné náhodné mutace jsou motorem pohánějícím evoluci. Většina mutací je špatná, ale Darwin rozuměl pravděpodobnosti dostatečně na to, aby věděl, že se tu a tam čistou náhodou objeví mutace prospěšná.

Druhým pilířem Darwinovy intuitivní teorie byl princip boje, tedy fakt, že se rozmnožuje vítěz. Úspěch mají lepší geny a podřadné geny vedou do slepé uličky.

* Alfred Russel Wallace (1823–1913), Darwinův vrstevník, byl spoluobjevitelem principu přírodního výběru jakožto mechanismu, který řídí vývoj druhů. Když si Darwin přečetl Wallaceovu krátkou zprávu, konečně ho to přimělo vydat svou práci.

Tyto dvě jednoduché myšlenky vysvětlily, jak by bez jakéhokoli nadpřirozeného zásahu mohl vzniknout komplexní, a dokonce inteligentní život. V dnešním světě počítačových virů a internetových červů si lze snadno představit aplikaci těchto principů i na zcela neživé objekty. Jakmile z původu živých bytostí vymizela magie, otevřela se cesta k čistě vědeckému výkladu stvoření.

Darwin s Wallacem nastavili latku nejen pro vědy biologické, ale i pro kosmologii. Zákony, jež řídí zrození a vývoj vesmíru, musejí být stejnými zákony, které řídí pád kamenů, chemii, jadernou fyziku popisující prvky i fyziku elementárních částic. Osvobodili nás ze sevření nadpřirozena, když ukázali, že komplexní, a dokonce inteligentní život může povstat z náhody, soupeření a přírodních příčin. Kosmologové museli učinit totéž, protože základy kosmologie musejí být postaveny na neosobních pravidlech, pravidlech stejných napříč celým vesmírem, jejichž původ nemá nic společného s naší vlastní existencí. Jediný bůh dovolený kosmologům je „slepý hodinář“ Richarda Dawkinse.*

Nové kosmologické paradigma není zase tak staré. V 60. letech jsem byl mladý student fyziky na Cornellově univerzitě a tehdy teorie velkého třesku stále soupeřila s jiným vážným sokem. Teorie ustáleného stavu byla v jistém smyslu logickým opakem velkého třesku. Jestliže teorie velkého třesku říkala, že vesmír vznikl v konečném času v minulosti, teorie ustáleného stavu tvrdila, že vesmír existoval odjakživa. Ustálený stav byl duševním dítkem tří světově proslulých kosmologů – Freda Hoyla, Hermana Bondiho a Thomase Golda, kteří si mysleli, že explozivní počátek vesmíru, k němuž mělo dojít před pouhými deseti miliardami let, byl příliš nepravděpodobný. Gold byl profesorem na Cornellu a pracovnu měl jen kousek ode mě. Tehdy neúnavně kázal o nekonečně starém (a také nekonečně velkém) vesmíru. Sotva jsem ho znal, popřáli jsme si všehovsudy dobré ráno, ale jednoho dne si zcela netradičně dal s několika studenty kávu a já se jej zeptal na něco, co mě trápilo: „Jestliže se vesmír nikdy nemění, čím to, že galaxie od sebe uhánějí pryč? Neznamená to snad, že v minulosti byly na sebe namačkané?“ Gold to vysvětloval jednoduše: „Galaxie se skutečně od sebe vzdalují, jenže když se od sebe vzdalují, v prostoru mezi nimi vzniká nová hmota, která tento prázdny prostor vyplňuje.“ Byla to chytrá odpověď, ale nedávala žádný matematický smysl. Během roku či dvou ustoupila teorie ustáleného stavu teorii velkého třesku a brzy upadla do zapomnění. Vítězné paradigma velkého třesku prosazovalo myšlenku, že rozpínající se vesmír je starý jen asi deset miliard let a že je asi deset miliard světelných let velký.** Nicméně jednu věc měly

* Dawkins se při popisu toho, jak evoluce slepě vytvořila biologický vesmír, odvolává na slepého hodináře. Toto přirovnání lze snadno rozšířit i na vznik vesmíru. Richard Dawkins, *Slepý hodinář: Zázrak života očima evoluční biologie* (New York: Norton, 1996, český překlad Tomáš Grm, Paseka, 2002).

** Jeden světelný rok je samozřejmě vzdálenost, kterou světlo urazí za jeden rok. Je to asi deset bilionů kilometrů.

obě teorie společnou, a to předpoklad, že vesmír je homogenní, což znamená, že je všude stejný a všude se řídí stejnými univerzálními fyzikálními zákony. Kromě toho jsou tyto zákony fyziky stejné jako ty zákony, které objevujeme v pozemských laboratořích.

Bylo a je velmi vzrušující sledovat, jak během uplynulých čtyřiceti let experimentální kosmologie dospívá z hrubého kvalitativního „umění“ do velice přesné kvantitativní vědy. Základní rámec teorie velkého třesku, jejímž autorem je George Gamow, začal ale sklízet ovoce až v moderní době. Na úsvitu nového tisíciletí zjišťujeme, že stojíme na rozvodí, jež patrně navždy změní naše chápání vesmíru. Odehrává se cosi, co je mnohem silnější než objev nových faktů a nových rovnic. Rámec našeho myšlení, celá epistemologie fyziky a kosmologie, zažívá převrat. Úzkoprsé paradigma 20. století založené na jediném vesmíru starém nějakých deset miliard let a velkém deset miliard světelných let se sadou jedinečných fyzikálních zákonů ustupuje čemusi daleko většímu, co překypuje novými možnostmi. Kosmologové a fyzici získávají čím dál silnější pocit, že náš deset miliard světelných let velký vesmír je infinitezimálně malým ostrůvkem rozsáhlého *megavesmíru*.^{*} Zároveň teoretičtí fyzici přicházejí s teoriemi, které odsouvají naše obyčejné přírodní zákony do malého koutku gigantické krajiny matematických možností.

V současném kontextu je slovo *krajina* staré jen pár let, ale od chvíle, co jsem je zavedl do fyziky, což bylo v roce 2003, se stalo součástí kosmologického slovníku. Označuje matematický prostor představující všechna možná prostředí, jež jsou dovolena teorií. Každé možné prostředí má své vlastní fyzikální zákony, vlastní elementární částice i konstanty přírody. Některá prostředí jsou podobná našemu, ale i přesto se mírně liší. Například určité prostředí obsahuje elektrony, kvarky a všechny obvyklé částice, avšak gravitace v nich může být miliardkrát silnější než u nás. Jiná prostředí mají gravitaci stejnou, jaká je u nás, ale obsahují elektrony těžší než atomová jádra.^{**} A některé vesmíry mohou věrně připomínat náš svět s tím rozdílem, že v nich řadí silná odpudivá síla (zvaná kosmologická konstanta), jež trhá na kousíčky celé galaxie, molekuly, a dokonce i atomy. A co víc, ani tři prostorové rozměry nemají posvěcenou existenci; oblasti v krajině popisují světy se čtyřmi, pěti, šesti i více dimenzemi.

Podle moderních kosmologických teorií je rozmanitost krajiny paralelou rozmanitosti běžného prostoru. Inflační kosmologie, jež je naší nejlepší teorií vesmíru, nás trošku mimoděk přivádí k pojmu megavesmíru zaplněného ohromným počtem něčeho, čemu Alan Guth říká „ostrovní vesmíry“. Některé ostrůvky jsou mikroskopické a nikdy nevyrostou. Jiné jsou velké jako náš vesmír, ale

* Místo pojmu *megavesmír* se zešíroka používá termín *multivesmír*. Osobně mi lépe zní *megavesmír*. Omlouvám se všem nadšeným přívržencům multivesmíru.

** V našem světě jsou jádra atomů řádově tisíckrát těžší než elektrony.

jsou naprosto prázdné. A každý z nich leží ve svém údolí krajiny. Stará otázka z 20. století, jež zní „Co můžete objevit ve vesmíru?“, ustupuje otázce „Co objevit nemůžete?“.

Znovu přezkoumáváme a zpochybňujeme i místo člověka ve vesmíru. Megavesmír o takové rozmanitosti bude jen stěží všude podporovat inteligentní život, s výjimkou nepatrného zlomku své rozlohy. Z tohoto hlediska budou odpovědi na otázky jako „Proč má jistá konstanta přírody takovou hodnotu, jakou má, proč nemá jinou?“ naprosto jiné, než fyzici doufali. Žádná jedinečná hodnota nebude vybrána matematickou konzistencí, jelikož krajina povoluje nesmírně širokou paletu možných hodnot. Namísto toho zazní odpověď: „Někde v megavesmíru má tato konstanta *takovou* hodnotu; někde jinde má *tuto* hodnotu. Žijeme na ostrůvku, kde hodnota konstanty je konzistentní s naším typem života. Toť vše! Nic jiného v tom není! Na tuto otázku jiná odpověď neexistuje.“

V zákonech a konstantách přírody se vyskytuje mnoho náhod, jež nemají jiné vysvětlení než: „Kdyby zákony a konstanty byly jiné, nemohl by existovat inteligentní život.“ Některým lidem připadá, jako by fyzikální zákony byly záměrně vybrány (alespoň zčásti) tak, aby umožnily naši existenci. Jak jsem se zmínil v úvodu, tuto myšlenku, jíž říkáme antropický princip, řada fyziků nesnáší. Jiní v něm věří mýty o nadpřirozených stvořeních, náboženství a inteligentní plán. Další mají pocit, že antropický princip představuje kapitulaci, že se jím vzdáváme vznešeného hledání racionálních odpovědí. Ale kvůli novým bezprecedentním pokrokům na poli fyziky, astronomie a kosmologie jsou stejní fyzici nuceni přehodnotit své postoje a zamyslet se nad předsudky. Tento převrat je řízen čtyřmi hlavními proudy pokroku, z nichž dva pocházejí z teoretické fyziky a dva z observační astronomie. Na teoretické straně stojí výsledek inflační teorie, produkt, kterému se říká věčná inflace, jež si žádá existenci světa v podobě megavesmíru překypujícího ostrovními vesmíry, které vybuchly z inflačně se rozpínajícího prostoru podobně jako bublinky z lahve šampaňského. Zároveň ze strunové teorie vyplývá existence krajiny s neuvěřitelnou rozmanitostí. Nejlepší odhady udávají, že může existovat 10^{500} rozličných prostředí. Tohle číslo (jednička následovaná pěti stovkami nul) je větší, „než si dokážete představit“, ale i přesto nemusí být dost vysoké, aby zahrnulo všechny možnosti.

Současná astronomická pozorování jdou ruku v ruce s teoretickými objevy. Nejnovější astronomická data o velikosti a tvaru vesmíru stvrzují, že vesmír je „exponenciálně nafouknutý“ do závratné velikosti, rozměrů mnohem větších než těch standardních deset či patnáct miliard světelných let. Je jen pramálo pochyb o tom, že jsme ponořeni v nesmírně větším megavesmíru. Avšak tou největší novinkou je, že nechvalně proslulá kosmologická konstanta (matematický člen, který původně Einstein zavedl do svých rovnic a později ho se znechucením odstranil) není na našem vesmírném ostrůvku přesně nulová, jak se

obecně předpokládalo. Tento objev vyrazil fyzikům dech víc než cokoli jiného. Kosmologická konstanta představuje dodatečné gravitační odpuzování, jistý typ antigravitace, o níž jsme si mysleli, že v našem světě nemá místo. Skutečnost, že kosmologická konstanta má malou nenulovou hodnotu, je pro fyziky pohromou. A problém kosmologické konstanty můžeme přitom vysvětlit jen v rámci zatracovaného antropického principu, kterého se mnozí fyzici tak štítí. Nemám tušení, jak podivné a nepředstavitelné zvraty na nás ještě čekají při prozkoumávání rozsáhlých končin krajiny. Ale vsadil bych se, že na sklonku 21. století se filozofové a fyzici ohlédnou a budou na naši éru nahlížet jako na období, kdy představa vesmíru 20. století ustoupila myšlence megavesmíru sídlícího v krajině neuvěřitelných proporcí.

NERVÓZNÍ PŘÍRODA ANEB KVANTOVÉ CHVĚNÍ

„Koho kvantová teorie nešokuje, ten jí neporozuměl.“

Niels Bohr

Představa, že se fyzikální zákony mohou měnit napříč vesmírem, je stejně nesmyslná jako představa, že může existovat více než jeden vesmír. Vesmír je vše, co existuje; mělo by to být jediné slovo, jež by z logického hlediska nemělo mít ani množné číslo. Zákony, jimiž se řídí vesmír jako celek, se nemohou měnit. Vždyť jaké zákony by řídily tyto změny? Nejsou snad i ony součástí fyzikálních zákonů?

Fyzikálními zákony však myslím něco mnohem skromnějšího než ty grandiózní, všeobjímající zákony regulující všechny aspekty megavesmíru. Na mysli mám totéž, na co myslel obyčejný fyzik z 20. století, který se zajímal spíše o laboratoř než o vesmír, tedy zákony vládnoucí stavebním kamenům obyčejné hmoty.

O těchto zákonech fyziky je naše kniha - ne o tom, *co* jsou zač, ale *proč* jsou takové, jaké jsou. Avšak dříve, než se budeme moci zajímat o otázku „Proč jsou takové, jaké jsou?“, je potřeba zjistit, co jsou zač. Co to je za zákony? Co říkají a jak jsou vyjádřeny? Úkolem této kapitoly je poučit se o zákonech fyziky v tom smyslu, v jakém jsme je chápali někdy kolem roku 2000.

*

Isaac Newton a všichni jeho následovníci nahlíželi na fyzikální svět jako na přesný deterministický stroj, jehož minulost předurčuje budoucnost se stejnou jistotou, „jako že ráno vyjde Slunce“. Přírodní zákony měly podobu pravidel (rovníc), jež vyjadřovaly tento determinismus v přesném matematickém jazyce. Kupříkladu člověk mohl určit pohyb objektů po přesných

trajektoriích na základě počátečních bodů a jejich rychlostí. Slavný francouzský fyzik a matematik 18. století Pierre-Simon de Laplace tento princip vyjádřil následovně:

Současný stav vesmíru můžeme považovat za následek jeho minulosti a příčinu jeho budoucnosti. Intelkt, který by v daný okamžik znal všechny síly, jež uvedly přírodu do pohybu, a všechny polohy všech součástí, z nichž je příroda složená, tak pokud by byl dostatečně výkonný, aby tyto údaje podrobil analýze, v jediném vzorci by byly obsaženy pohyby největších těles vesmíru i toho nejmenšího atomu; pro takový intelekt by nebylo nic nejisté a budoucnost stejně jako minulost by byly přístupné jeho pohledu.

Jen pro případ, že přežvýkaný překlad z francouzštiny do angličtiny a z angličtiny do češtiny ztratil jiskru jako při tiché poště, si jej dovysvětlíme. Laplace tvrdil, že kdybyste (vy nebo nějaký nadintelekt) v určitý okamžik znali polohu a rychlost každé částice ve vesmíru, mohli byste neustále předpovídat přesnou budoucnost celého vesmíru. Tento ultradeterministický pohled na povahu přírody byl převažujícím paradigmatickým, dokud na prahu 20. století do dveří nevěšel rozvratný myslitel Albert Einstein, jenž všechno změnil. Ačkoli je Einstein známý především díky své proslulé teorii relativity, jeho nejtroufalejší a nejradikálnější tah - jeho nejrozvratnější tah - souvisel s podivným světem kvantové mechaniky, nikoli s teorií relativity. Od té doby začali fyzici rozumět tomu, že zákony fyziky jsou kvantovými zákony. Z tohoto důvodu otevřeme první kapitulu krátkým kurzem „Jak přemýšlet kvantověmechanicky?“.

Vstupujeme do bizarního Alenčina světa za zrcadlem, světa moderní fyziky, kde nic není takové, jak se zdá, kde vše fluktuuje a tetelí se a kde je nejvyšší vládnoucí silou nejistota. Zapomeňte na vesmír newtonovské fyziky, vesmír, který se chová jako hodinový stroj. Svět kvantové mechaniky může být ledajaký, ale určitě není předvídatelný. Revoluce, jež propukly na počátku 20. století, nebyly „sametové“. Nejenže změnilly rovnice fyzikálních zákonů, ale naprosto zničily epistemologické základy velké části klasické vědy a filozofie. Řada fyziků nebyla s to přijmout tento nový přístup, a tak zůstali mimo hru. Mladší a přizpůsobivější generace fyziků si přímo libovala v bizarních moderních myšlenkách a vypěstovala si intuici a schopnost novou fyziku si dobře představit. Změna to byla natolik velká, že pro řadu teoretických fyziků mé generace je už snadnější přemýšlet kvantověmechanickým nebo relativistickým způsobem než klasickou cestou.

Kvantová mechanika byla tím největším překvapením. Na kvantové úrovni je svět celý rozechvělý, je fluktuující říší pravděpodobností a neurčitostí. Ale není to tím, že by se elektron potácel jako opilý námořník. V nahodilosti jeho

pohybu je daleko rafinovanější vzor, který se dá popsat nejlépe ezoterickou symbolikou abstraktní matematiky. Nicméně s trochou námahy a trpělivosti je možné ty nejdůležitější aspekty kvantového světa přeložit do běžného jazyka.

Od 19. století používají fyzici kulečnickový stůl jako metaforu pro představu fyzikálního světa interagujících, kolidujících částic. Tuto analogii rád používal James Clerk Maxwell i Ludwig Boltzmann a dodnes ji používá nespočet fyziků k vysvětlení kvantového světa. Poprvé jsem o ní slyšel od Richarda Feynmana:

Představte si kulečnickový stůl, který je tak skvěle zkonstruován, že na něm nedochází ke tření. Koule a mantinely jsou elastické do takové míry, že když do nich narazí koule, vždy se odrazí bez sebemenší ztráty kinetické energie. Stůl nemá kapsy, takže když uvedeme koule do pohybu, budou se po něm pohybovat neustále dokola, budou se srážet, odrážet od mantinelů a tak dále. Na počátku hry máme patnáct koulí srovnaných do trojúhelníkové dvourozměrné verze haldy dělových koulí. Bílou kouli pošleme směrem k ostatním koulím, aby haldu rozrazila.

Je složité a nepředvídatelné říct, co bude následovat. Ale proč je to nepředvídatelné? Je to proto, že každá srážka znásobuje nepatrné rozdíly v počátečních polohách a rychlostech koulí, tudíž i nejmenší odchylka nakonec povede k naprosto jinému výsledku. (Tato přecitlivělost k počátečním podmínkám se nazývá chaos a je neodmyslitelným rysem přírody.) Snaha zopakovat kulečnickovou hru není totéž, jako když chceme napodobit partii šachu. Potřebovali bychom k tomu totiž takřka nekonečnou přesnost. Nicméně v klasické fyzice se koule pohybují po přesných trajektoriích a pohyb koulí je zcela předvídatelný - za podmínky, že s nekonečnou přesností známe počáteční polohy a rychlosti koulí. Samozřejmě že čím delší předpověď chceme učinit, tím přesnější počáteční data potřebujeme. Avšak neexistuje mez pro přesnost těchto dat a neexistuje ani žádná mez pro naši schopnost předpovídat budoucnost na základě minulosti.

Oproti tomu je kvantová kulečnicková hra nepředvídatelná, ať už se hráči snaží být sebepřesnější. Žádná míra přesnosti by nedovolila víc než jen statistickou předpověď výsledků. Hráč klasického kulečnicku sice může sáhnout po statistickém přístupu, ale učiní tak jen z toho důvodu, že buď přesně nezná počáteční údaje, nebo protože bylo velmi obtížné přesně vyřešit příslušné pohybové rovnice. Avšak hráč kvantového kulečnicku nemá na výběr. V srdci zákonů kvantové mechaniky spočívá neoddelitelný prvek nahodilosti, který nelze nikdy odstranit. Proč jej nejde odstranit? Proč nelze předpovědět budoucnost na základě našich znalostí počátečních poloh a rychlostí? Odpověď spočívá v proslulém Heisenbergově principu neurčitosti.

Princip neurčitosti popisuje fundamentální omezení toho, jak přesně můžeme současně určovat polohy a rychlosti objektů.* Je to nejzazší verze Hlavy 22. Když budeme přesněji a přesněji zjišťovat polohu koule (abychom vylepšili naše předpovědi), nevyhnutelně tím ztratíme přesnost ve znalosti polohy koule v dalším okamžiku. Princip neurčitosti není jen kvalitativním faktem o chování těles. Má i svou velmi přesnou kvantitativní formulaci – součin neurčitosti v poloze objektu a nejistoty v jeho hybnosti je vždy větší než jisté (velice malé) číslo přezdívané Planckova konstanta.** Heisenberg i všichni po něm se snažili přijít na způsoby, jak princip neurčitosti porazit. Například Heisenberg si vzal na pomoc elektrony, ale stejně dobře to mohl provést i s kulečnickovými koulemi. Na kulečnickovou kouli posvíte paprskem světla. Světlo, které se odrazí od koule, můžeme zaměřit na fotografický film a poté ze snímku zjistit polohu koule. A co rychlost koule? Jak tu měřit? Nejjednodušší a nejpřímočařejší bude během krátké doby provést druhé měření polohy. Jakmile známe polohu tělesa ve dvou po sobě jdoucích okamžicích, vypočítat rychlost je už hračka.

Proč není tento typ pokusu možný? Důvod se skrývá v jednom z největších Einsteinových objevů. Newton věřil, že světlo je složeno z částic, avšak na začátku 20. století částicové teorii světla nevěřil snad už nikdo. Mnoho optických jevů, jako je třeba interference světla, totiž můžeme vysvětlit jen za předpokladu, že světlo je projevem vln, že se podobá vlnkám na hladině vody. V polovině 19. století publikoval James Clerk Maxwell velmi zdařilou teorii, v níž světlo vystupovalo jako elektromagnetické vlnění, jež se prostorem šíří docela podobně, jako se zvuk šíří vzduchem. Čili byl pořádný šok, když roku 1905 přišel Albert Einstein s tím, že světlo (a veškeré elektromagnetické záření) je tvořeno z malinkých projektilů zvaných kvanta neboli fotony.*** Einstein tvrdil, že světlo má z nějakého důvodu vlnové vlastnosti – vlnovou délku, frekvenci apod. – ale i „zrnitost“, jako by bylo složeno z diskretních kousíčků. Tato kvanta jsou nedělitelnými balíčky energie, což má za následek existenci jistých omezení, která nám svazují ruce, když chceme vytvořit co nejpřesnější snímky malých objektů.

Začněme s určováním polohy. Abychom získali dobrý a ostrý snímek koule, vlnová délka použitého světla nesmí být moc velká. Pravidlo je jednoduché – chcete-li

* Přesněji řečeno nejde o polohu a rychlost, ale o polohu a hybnost, ale tento detail teď ani později pro nás nebude hrát podstatnou roli. Možná víte, že (v klasické, Newtonově mechanice) je hybnost definována jako součin hmotnosti a rychlosti objektu, takže rozdíl mezi rychlostí a hybností můžeme pro zjednodušení ignorovat, a to i přesto, že v kvantové mechanice se už pracuje s čímsi trošku složitějším (takzvaným operátorem hybnosti). [Pozn. překl.]

** Planckova konstanta se značí písmenkem h a její číselná hodnota je přibližně $6,62608 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg s}^{-1}$, kde písmena m , kg a s označují metr, kilogram a sekundu.

*** Termín *kvantum* je poněkud obecnější než *foton*. Slovem *kvantum* se označuje libovolný diskretní balíček energie, kdežto *foton* je konkrétní termín pro elektromagnetickou energii. Čili můžeme říct, že foton je kvantem elektromagnetického záření.

s danou přesností zjistit polohu objektu, musíte použít vlnění, jehož vlnová délka není větší než povolená chyba. Do určité míry jsou rozmazané všechny snímky a chceme-li stupeň rozmazanosti snížit, musíme použít světlo s kratší vlnovou délkou. V klasické fyzice tohle nepředstavuje žádný problém, protože z pohledu klasické fyziky může být energie světelného paprsku libovolně nízká. Avšak jak tvrdil Einstein, světlo se skládá z nedělitelných fotonů. Kromě toho, jak uvidíme později, čím kratší je vlnová délka světelného paprsku, tím vyšší je energie fotonů.

To vše znamená, že k získání ostrého snímku na přesné určení polohy koule musíte kouli trefit fotony, které nesou vysokou energii. Tím se však omezujeme ohledně následného měření rychlosti. Potíž je v tom, že když se vysokoenergetický foton srazí s koulí, docela prudce do ní strčí, a tím změní rychlost, kterou jsme chtěli změřit. Tohle je příklad, jaký pocit marnosti zažijeme, když se pokusíme o změření polohy a rychlosti s nekonečnou přesností.

Souvislost mezi vlnovou délkou elektromagnetického záření a energií fotonu - čím kratší je vlnová délka, tím vyšší je energie - byla jedním z nejdůležitějších objevů, které Einstein učinil v roce 1905. Když si elektromagnetické vlnění seřadíme od nejkratších vlnových délek, dostaneme spektrum složené z gama záření, rentgenového záření, ultrafialového záření, viditelného světla, infračerveného záření, mikrovln a rádiových vln. Rádiové vlny mají největší vlnovou délku, ta se pohybuje od několika metrů až po kosmické proporce. Rádiové vlny jsou špatnou volbou, chceme-li jejich pomocí pořizovat snímky obyčejných objektů, jelikož rozlišení fotografií nebude vyšší, než je vlnová délka použitých rádiových vln. Na obrázku získaném pomocí rádiových vln byste nerozeznali člověka od kupy špinavého prádla. Vlastně byste nemohli odlišit ani jednoho člověka od dvou lidí, nebyla-li by mezi nimi vzdálenost větší než vlnová délka rádiové vlny. Na všech takto získaných fotografiích byste viděli jen rozmazané koule. To však neznamená, že rádiové vlny by se nikdy nehodily k pořizování snímků: prostě se nehodí k fotografování malých předmětů. Vždyť radioastronomie je velice užitečnou metodou ke studiu astronomických objektů. Na straně druhé jsou gama paprsky nejlepší pro získávání informací o skutečně malých věcech, třeba jádrech. Mají ty nejkratší vlnové délky, o dost kratší, než je velikost jednoho atomu.

Energie jednoho fotonu se zvyšuje s klesající vlnovou délkou. Jednotlivé rádiové fotony jsou příliš slabé, než aby je šlo detekovat. Daleko více energie nesou fotony viditelného světla, jen jeden takový foton umí rozlousknout molekulu. I oko, které se přizpůsobilo tmavým podmínkám, však jen sotva zaznamená, že na tyčinku sítnice dopadl jediný foton viditelného záření. Ultrafialové i rentgenové záření má dost energie na to, aby odtrhlo elektrony od atomů, a paprsky gama mohou rozbit nejen jádro, ale dokonce i protony a neutrony.

Obrácený vztah mezi vlnovou délkou a energií je vysvětlením jednoho ze

všudypřítomných trendů fyziky 20. století, totiž touhy po co největších urychlovačích částic. Fyzici, kteří usilují o odhalení nejmenších stavebních kamínek hmoty (molekul, atomů, jader, kvarků a podobně), byli přirozeně vedeni ke stále kratším a kratším vlnovým délkám, které jsou nutné pro sestavení ostrých snímků těchto objektů, avšak kratší vlnové délky nevyhnutelně znamenaly nutnost disponovat co neenergičtějšimi kvanty. K získání takovýchto vysokoenergetických kvant museli fyzici urychlit částice na enormně vysoké rychlosti, tedy kinetické energie. Kupříkladu elektrony lze sice urychlit na závratné rychlosti, ale pouze tehdy, když použijeme ještě větší a výkonnější zařízení. Ve Stanfordském centru lineárního urychlovače (SLAC), kousek od místa, kde bydlím, mohou fyzici urychlovat elektrony na energii 200 000krát vyšší, než je jejich hmotnost.* K tomu je ale nutné mít zařízení s délkou kolem tří kilometrů. SLAC je v podstatě 3,2 kilometru dlouhý mikroskop, který umí rozlišit objekty tisíckrát menší než proton.

Po celé 20. století se objevovaly nové a nečekané věci, neboť fyzici zkoumali stále menší a menší vzdálenosti. Jedním z takových překvapivých zjištění bylo, že protony a neutrony nejsou elementární částice. Když je fyzici sráželi s částicemi s velmi vysokou energií, podařilo se jim rozlišit malinkaté složky - kvarky - ze kterých se protony a neutrony skládají. Přestože používali a používají sondy s nejvyšší možnou dosažitelnou energií (nejkratší vlnovou délkou), elektron, foton i kvark zůstávají, pokud víme, stále bodovými objekty. To znamená, že nejsme s to odhalit jejich vnitřní strukturu, velikost ani žádné další součástky. Mohou to být klidně i nekonečně malé body v prostoru.

Vraťme se k Heisenbergově principu neurčitosti a jeho důsledkům. Představte si, že na kulečnickovém stole leží jen jedna koule. Protože je koule omezena na plochu stolu okolními mantinely, o její poloze v prostoru cosi automaticky víme, totiž že nejistota v poloze není větší než rozměry stolu. Čím menší je stůl, tím přesněji známe polohu koule, a proto tím méně víme o její hybnosti. Takže kdybychom začali měřit rychlost koule vázané na stůl, koule by jaksi náhodně uskakovala a fluktuovala. Reziduální pohybová fluktuace by nezmizela, ani kdybychom kouli zbavili co možná nejvíce její pohybové energie. Brian Greene k popisu tohoto pohybu použil spojení *kvantové chvění* a já půjdu v jeho stopách. Kinetické energii spojené s kvantovým chvěním se říká *energie základního stavu*

* Myslí se tím „než jaká je jejich klidová hmotnost“, protože po urychlení už mají elektrony hmotnost 200 000krát vyšší než v klidovém stavu. Klíč leží v relativistické hmotnosti - Einstein ve speciální teorii relativity ukázal, že hmotnost objektu závisí na pohybovém stavu objektu a pozorovatele. Jelikož se elektron vzhledem k nám pohybuje vysokou rychlostí, úměrně tomu roste i jeho hmotnost. V částicové fyzice se hmotnost a energie zaměňují běžně - tím druhým klíčem (který se odvíjí od prvního) je proslulá Einsteinova rovnice $E = mc^2$, což je vztah pro ekvivalenci hmotnosti (m) a energie (E). Symbol c^2 označuje druhou mocninu rychlosti světla. [Pozn. překl.]

a nelze se jí zbavit.*

Kvantové chvění vyplývající z Heisenbergova principu neurčitosti má zajímavý následek pro obyčejnou hmotu, kterou chceme ochladit na nulovou teplotu.** Teplo je samozřejmě energií náhodného molekulárního pohybu. Když z hlediska klasické fyziky ochlazujete nějaký objekt, tak při dosažení absolutní nuly veškerý pohyb molekul ustane. Výsledkem pak je, že při absolutní nule z molekul vymizí všechna kinetická energie.

V pevných látkách však má každá molekula dobře definovanou polohu. Molekulu na místě drží ostatní molekuly – nikoli mantinely kulečnickového stolu. Nevyhnutelným důsledkem je, že molekuly mají flukтуаční rychlost. Z reálné látky, jež se chová podle zákonů kvantové mechaniky, nelze nikdy odstranit všechnu pohybovou energii ani při absolutní nule!

Poloha a rychlost nejsou v žádném případě jedinými veličinami, které podléhají principu neurčitosti. Existuje celá řada párů tzv. konjugovaných (sdružených) veličin, jejichž hodnoty není možné určovat souběžně, protože čím lépe určíme jednu z nich, tím víc ta druhá fluktuuje. Velmi významným příkladem je princip neurčitosti aplikovaný na dvojici veličin energie–čas, podle kterého nelze určit přesnou dobu, po jakou probíhala událost (či čas události), a současně energii objektů, které se události účastnily. Představte si, že experimentální fyzik chce, aby se v určitý okamžik srazily dvě částice. Princip neurčitosti energie a času omezuje přesnost, s jakou může experimentátor kontrolovat energii částic a také čas, v jakém se částice mají srazit. Když bude s rostoucí přesností kontrolovat hodnotu energie srážky, zákonitě to povede ke zvýšení nahodilosti v času srážky – a platí to i opačně.

Dalším důležitým příkladem, ke kterému se dostaneme ve 2. kapitole, jsou elektrická a magnetická pole v bodě prostoru. Tato pole, jež hrají klíčovou úlohu v následujících kapitolách, jsou neviditelná, vyplňují prostor a řídí síly, kterými na sebe působí elektricky nabitě částice. Ani hodnoty magnetického a elektrického pole nemohou být zjišťovány souběžně, podobně jako poloha a rychlost. Je-li v bodě prostoru známa hodnota jednoho z nich, hodnota druhého pole je zákonitě neurčitá. Z tohoto důvodu se tato pole nacházejí v neustálé rozechvělé fluktuaci, které se nelze zbavit. A jak asi tušíte, toto chvění vede ke vzniku jistého množství energie třeba i v naprosto prázdném prostoru. Tato *energie vakua* vedla k jednomu z největších paradoxů moderní fyziky a kosmologie. Už od příští

* Brian Greene, *Elegantní vesmír: Superstruny, skryté rozměry a hledání teorie všeho* (New York: Norton, 1999, 2003, vyšlo v českém překladu Luboše Motla, Mladá fronta, 2000.) [Doslovný překlad anglického spojení *zero point energy* by zněl *energie nulového bodu* nebo *energie v nulovém bodě*, ale česká fyzika takové sousloví nezná. Původně do fyziky tento termín zavedli Albert Einstein a Otto Stern v roce 1913 jako *Nullpunktenergie*. – Pozn. překl.]

** „Nulovou“ na Kelvinově stupnici. Zápisem „0 K“ se označuje absolutní nula a odpovídá zhruba $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$. [Pozn. překl.]

kapitoly se budeme s energií vakua pravidelně setkávat.

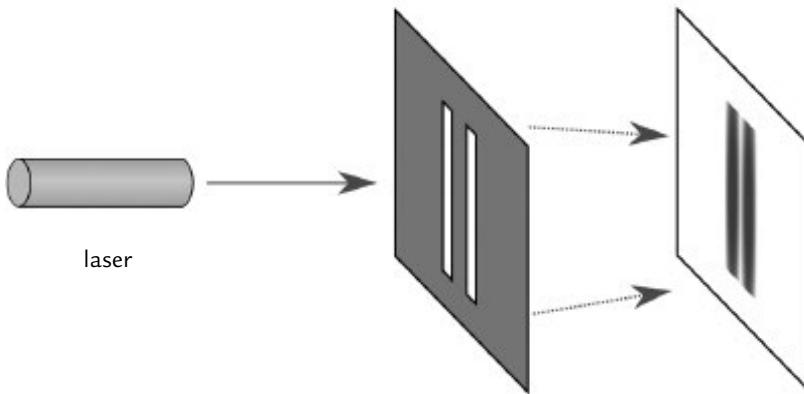
Nejistota a chvění nejsou celou výzbrojí kvantové mechaniky. Ta má totiž ještě jednu stránku, a to kvantovou. Z přívlastku „kvantová“ plyne jistá míra diskretnosti (ve smyslu nespojitosti) či zrnitosti. Fotony, z nichž se skládají světelné vlny, jsou jen jedním příkladem kvant. Elektromagnetické záření je projevem oscilace; jinými slovy jde o kmitání, vibrace. Dítě na houpačce, kmitající pružina, rozkmitaná houslová struna, zvuková vlna, to všechno jsou oscilační jevy, a pro všechny je typická diskretnost. Ve všech případech existuje energie ve formě diskretních kvantových jednotek, které nelze rozdělit na menší balíčky. V makroskopickém světě strun a houpaček je kvantová jednotka energie natolik nepatrná, až se zdá, že energie by mohla nabývat libovolné hodnoty, ve skutečnosti však energie oscilací může existovat pouze ve formě nedělitelných jednotek rovnajících se frekvenci oscilací (počet oscilací za sekundu) vynásobené malinkou Planckovou konstantou.

Oscilují i elektrony kroužící kolem atomového jádra. V tomto případě popisujeme kvantování energie pomocí diskretních oběžných drah. Otcem kvantovaného atomu je Niels Bohr, který si představoval, že elektrony obíhají jádro tak, jako kdyby jejich pohyb byl omezen vzájemně oddělenými dráhami podobnými běžecké trati. Dráha, ve které se elektron nachází, určuje energii elektronu.

Rozechvělé chování a diskretnost jsou sice dostatečně podivné rysy kvantového světa, ale jeho opravdová prapodivnost spočívá v „interferenci“, kterou dobře ilustruje například slavný „dvouštěrbinový experiment“. Představte si malý zdroj světla - velmi intenzivní miniaturní žárovku - v jinak tmavé místnosti. Vhodný by byl třeba i laser. Do určité vzdálenosti od zdroje světla postavte fotografický film. Když světlo dopadne na film, film zčerná. Je to stejné, jako když vzniká obyčejný negativ. Když postavíme mezi zdroj světla a film překážku v podobě kovové desky, je zřejmé, že film nebude exponován. Ale teď do překážky vyříznete dvě rovnoběžné štěrbin, aby jimi mohlo světlo projít a osvětit film. Náš první pokus je velice jednoduchý a spočívá v tom, že zakryjeme jednu štěrbinu (třeba levou) a zapneme zdroj světla.

Po určité době se objeví na filmu svislý tmavý proužek: rozmazaný obraz pravé štěrbin. V dalším kroku zakryjeme pravou štěrbinu a odkryjeme tu levou. Objeví se druhý široký pásek částečně překrývající první.

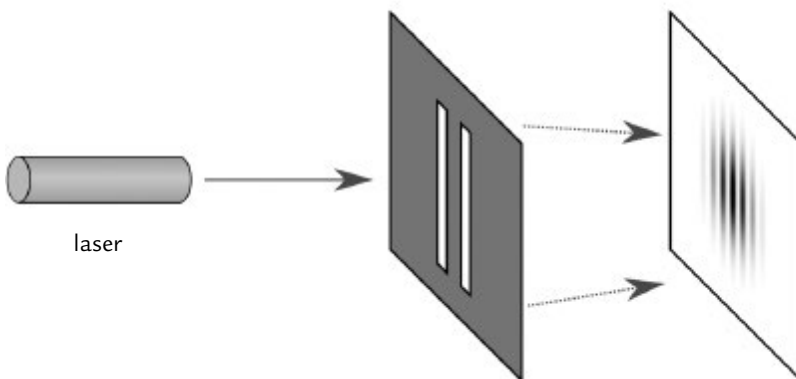
Teď experiment provedeme jinak. Použijeme nový fotografický film a obě štěrbin necháme průchodné. Nevíte-li dopředu, co vznikne, výsledek vás překvapí. Výsledný obrazec není jen pouhým součtem předchozích dvou zčernalých oblastí. Místo toho spatříme řadu tmavých a světlých úzkých proužků podobných pruhům zebry. Na některých místech, kde se předtím překrývaly dva tmavé proužky, máme nezčernalé proužky. Světelné vlny procházející levým a pravým



Osvit nejdříve jednou a pak druhou štěrbinou.

otvorem se v těchto místech z nějakého důvodu vyrušily. Fyzikální pojem pro tento jev je *destruktivní (záporná) interference* a je to velice známá vlastnost vln. Dalším příkladem interference jsou záněže (rázy), jež uslyšíte, když zahrajete dva téměř stejné tóny.

Zkusíte-li provést tento pokus doma, zjistíte, že to není tak snadné, jak zde popisují. Vaši snahu hatí dvě věci. Interferenční obrazec je viditelný jen v tom případě, když štěrbin v překážce jsou velice úzké a sobě velmi blízké. Nečekejte, že se vám jej povede vytvořit, když do překážky vyříznete dvě díry otvůrkem na konzervy. Zadruhé, zdroj světla musí být velice malý. Stará fousatá metoda pro přípravu světelného zdroje spočívá v tom, že než světlo necháme dopadnout na překážku s otvory, necháme je ještě projít jinou překážkou s miniaturní dírkou.



Osvit oběma štěrbinami současně.

Daleko vhodnější však je použít moderní laser. Laserové ukazovátko je ideální. Laserový paprsek procházející přes velice pečlivě vytvořené štěrbinu vytvoří excelentní interferenční obrazce. Hlavní problém v experimentu však je udržet všechny jeho součástky v klidu.

Teď provedeme celé to optické cvičení znovu, tentokrát však snížíme intenzitu světla do takové míry, že k přepážce budou fotony putovat jeden po druhém. Když film osvítlíte jen na malou chvíli, v místech, kam fotony dopadly, se objeví jen pár tmavých teček. Zase jej osvítlíte, nyní bude hustota teček vyšší. Nakonec získáme obrazec, který vznikl při prvním experimentu. Kromě jiných skutečností potvrzuje tento pokus Einsteinovu představu, že světlo se skládá z diskrétních fotonů. Nadto částice dopadávají na film náhodně a obrazec se objeví jen tehdy, když se jich na filmu nashromáždí dostatečný počet.

Tyto částicím podobné fotony se však chovají tím nejnevypytatelnějším způsobem. Jsou-li otevřeny obě štěrbinu, ani jeden z fotonů nedopadne do míst, kde dochází k záporné interferenci. A to i navzdory skutečnosti, že tam fotony dopadnou, když je průchozí jen jeden otvor. Zdá se, že když otevřeme levou štěrbinu, zabráníme tím fotonům procházet pravou štěrbinou, a naopak. Vyjádříme to trošku jinak: předpokládejme, že bod X na filmu je takový bod, v němž dochází k záporné interferenci. Foton může dopadnout do místa X, je-li otevřena levá štěrbinu. Může dopadnout do X, pokud je otevřena pravá štěrbinu. Rozumný člověk by očekával, že foton dopadne do místa X s ještě větší pravděpodobností, jsou-li otevřeny obě štěrbinu. Jenže tak tomu není – v místě X se neobjeví ani jeden foton, ať čekáte, jak čekáte. Jak foton, který co nevidět projde levou štěrbinou, ví, že je otevřená i pravá štěrbinu? Tento zvláštní jev fyzici často popisují slovy, že foton neprochází jedním či druhým otvorem, ale že „vycítí“ obě možné cesty a v určitých místech se tento příspěvek obou cest vyruší. Ať vám tohle pomáhá chápat interferenci nebo ne, jde o velice zvláštní jev. Když pracujete s kvantovou mechanikou čtyřicet let, na její podivnosti si zvyknete. Ale když se člověk nad ní zamyslí, je divná!

ELEMENTÁRNÍ ČÁSTICE

Zdá se, že příroda je uspořádaná hierarchicky: velké objekty se skládají z menších objektů, jež jsou sestaveny z ještě menších, až nakonec narazíme na součástky, které už rozložit nejdou. Obyčejný svět je plný takových hierarchií. Automobil není nic víc než soubor součástek: kol, volantu, motoru a tak dále. Motor je zase složen z menších součástek, jako jsou šrouby, písty, ojnice a pružiny. Pokud lze soudit, vlastnosti menších věcí určují chování těch větších. Tento pohled, že celek je součtem svých součástí a že přírodě můžeme porozumět, když ji rozložíme na nejjednodušší složky, se nazývá *redukcionismus*.

V mnoha akademických kruzích je redukcionismus sprostým slovem. Rozdmýchává vášně skoro stejně, jako je rozdmýchává evoluce v jistých náboženských kruzích. Představa, že veškerá existence není ničím víc než jen souborem neživých částic, se dotýká stejných rizik jako podobná myšlenka, že lidé nejsou nic víc než jen nosiči sobeckých genů. Ať se vám to líbí nebo ne, redukcionismus skutečně funguje. Každý automechanik je redukcionista, alespoň během pracovní doby. Ve vědě je síla redukcionismu fenomenální.* Základní zákony biologie jsou určeny chemií organických molekul, jako jsou DNA, RNA a proteiny. Chemici redukuje komplexní vlastnosti molekul na vlastnosti atomů a fyzici jdou ještě dále. Atomy jsou jen soubory elektronů obíhajících atomová jádra. V základních hodinách přírodovědy se učíme, že jádra jsou složeniny protonů a neutronů. A ty se zase skládají z kvarků. Kam až může tento „matrjoškovský“ přístup pokračovat? Kdoví. Ale fyzika 20. století se dostala redukcionismem až k takzvaným elementárním částicím. Zákony fyziky máme na mysli zákony těch nejmenších stavebních cihlíček. Bude důležité, abychom měli jasnou představu o tom, jaké tyto zákony jsou, než si položíme otázku, proč jsou takové, jaké jsou.

Jazyk teoretické fyziky je tvořen matematickými rovnicemi. Pro fyzika je těžké si představit teorii, která by neobsahovala rovnici nebo malý soubor rovnic. Jedněmi z nejdůležitějších příkladů jsou třeba Newtonovy rovnice, Maxwellovy rovnice, Einsteinovy rovnice nebo Schrödingerova rovnice. Matematický rámec fyziky elementárních částic se nazývá *kvantová teorie pole*. Jde o složitý matematický obor nabitý velmi abstraktními rovnicemi. Rovnice kvantové teorie pole jsou vlastně natolik složité, až člověk mívá pocit, že pro vyjádření teorie nejsou to pravé. Naštěstí pro nás všechny měl tentýž pocit i slavný Richard Feynman, takže vyvinul schematický způsob, jak tyto rovnice znázornit. Feynmanův přístup je tak intuitivní, že hlavní myšlenky teorie můžeme vyjádřit bez jediné rovnice.

Co se týče vizualizací, byl Dick Feynman génius (ale dovedl to i s rovnicemi) a uměl si vytvořit názornou představu o všem, na čem pracoval. Zatímco ostatní popisovali tabule rovnicemi, aby vyjádřili zákony elementárních částic, on nakreslil jen obrázek a hned našel řešení. Byl to kouzelník, šoumen a rád se předváděl, ale jeho kouzla poskytla fyzikům nejjednodušší a nejintuitivnější způsob k formulaci fyzikálních zákonů. *Feynmanovy diagramy* (stránka 42) jsou doslova obrázky událostí, jež se odehrávají při pohybu elementárních částic prostorem, částic, které se srážejí a interagují. Feynmanův diagram nemusí být nic jiného než několik čar popisujících pár kolidujících elektronů, ale může to být i rozsáhlá síť propojených větví, zatočených trajektorií s popisem souboru částic, jež

* Zda funguje i při studiu myslí, je stále otevřenou otázkou. Můj osobní pohled je takový, že chování živé hmoty ovládají tytéž zákony, jimž se podřizuje neživá hmota. Pro opak neznám jediný důkaz. Na druhou stranu redukcionistická věda ještě musí plně vysvětlit jev vědomí.

tvoří vše od diamantu až k živé bytosti nebo astronomickému tělesu. Tyto diagramy můžeme zredukovat na několik základních součástí, v nichž je shrnuto vše, co víme o elementárních částicích. Samozřejmě to nejsou jen obrázky - patří k nim i všechny technické podrobnosti o tom, jak se používají k přesným výpočtům. Ale to pro nás není tak podstatné. Pro naše účely postačí obrázek, jenž vydá za tisíc rovnic.

KVANTOVÁ ELEKTRODYNAMIKA

Na počátku kvantové teorie pole vystupuje seznam herců, tedy elementárních částic. V ideálním případě by figurovaly na seznamu všechny elementární částice. Avšak tak tomu v praxi není, neboť jsme si dost dobře jisti, že kompletní seznam neznáme. Ale o moc nepřijdeme, byť je seznam jen částečný. Je to jako divadelní představení - ve zcela pravdivém příběhu by museli vystupovat všichni lidé na Zemi, živí i mrtví, ale žádný autor mající všech pět pohromadě by se nepokoušel napsat hru s několika miliardami postav. Pro specifické hry jsou některé postavy důležitější než ostatní, a totéž platí i v případě fyziky elementárních částic.

Původní příběh z Feynmanova pera nese název *Kvantová elektrodynamika* neboli zkráceně QED. Vystupují v něm jen dvě postavy: elektron a foton. Dovolte, abych vám je představil.

ELEKTRON

První elementární částici objevil v roce 1897 britský fyzik Joseph Jon Thomson. V té době lidé už sice znali elektřinu, ale až Thomson při svých pokusech zjistil, že elektrické proudy lze zredukovat na pohyb jednotlivých nabitých částic. Těmi pohybuujícími se částicemi, které napájejí toustovače, žárovky a počítač, jsou samozřejmě elektrony. Co se dramatických projevů týče, elektronům se těžko něco vyrovná. Když rozsekne oblohu obří blesk, elektrony přetékaají z jednoho elektricky nabitého mraku na druhý. Hromobití vzniká v důsledku rázové vlny vzniklé srážkami silně urychlených elektronů s molekulami vzduchu, které jim stojí v cestě. Viditelný záblesk sestává z elektromagnetického záření vyzářeného rychle se pohybuujícími elektrony. Malé jiskření a praskání za velmi suchého dne vzniká v důsledku statické elektřiny a je projevem těžké fyziky, jen v menších měřítkách. I obyčejná elektřina v domácnostech je stejný proud elektronů ochočených elektricky vodivými měděnými dráty.

Každíčký elektron nese zcela stejný elektrický náboj jako jakýkoli jiný elektron. Náboj elektronu je vyjádřen velice malým číslem. Abyste získali běžný elektrický proud o velikosti jednoho ampéru, potřebujete k tomu ohromný počet elektronů - asi 10^{19} elektronů za sekundu. Na elektrickém náboji elektronu je cosi zvláštního, co nejde do hlavy celým generacím studentů fyziky - náboj

Vážení čtenáři, právě jste dočetli ukázkou z knihy ***Kosmická krajina***.
Pokud se Vám ukázka líbila, na našem webu si můžete zakoupit celou knihu.